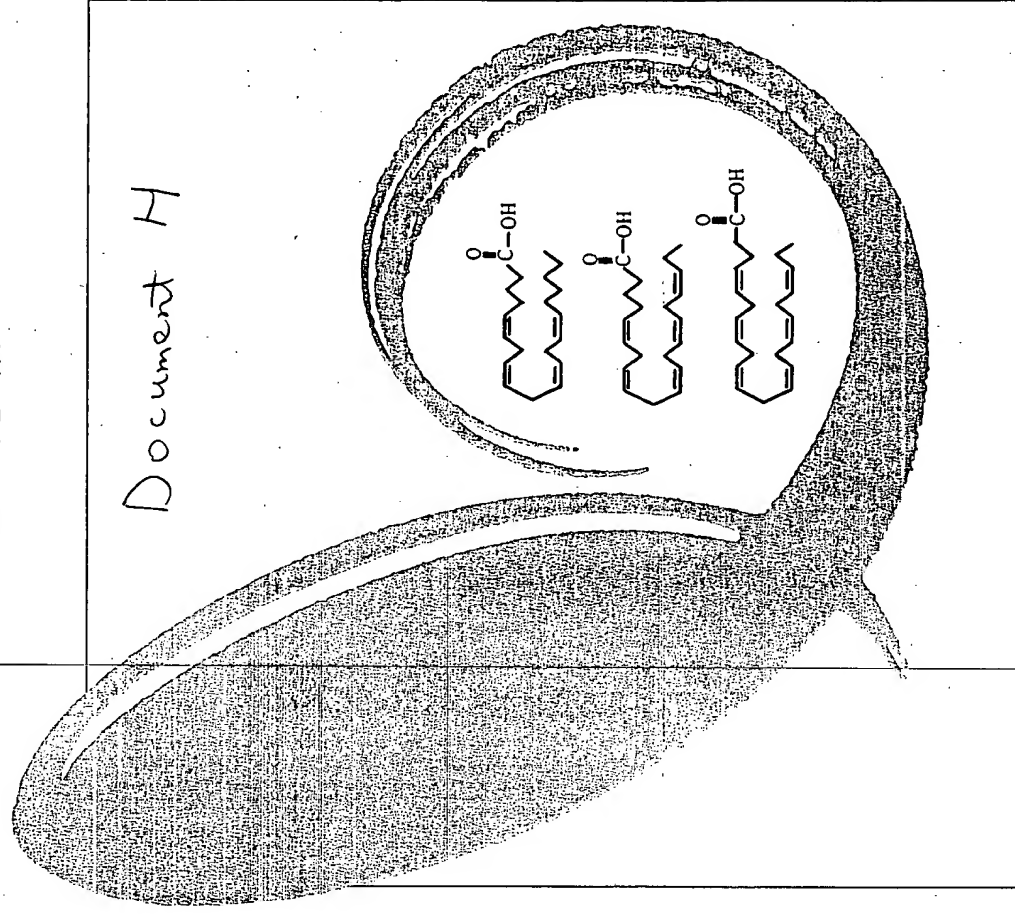


AA, EPA, DHA

—高度不飽和脂肪酸

鹿山 光 編



恒星社厚生閣

AA, EPA, DHA-高度不飽和脂肪酸

脂質でこのような需要に応えられるものとしては、菌類の脂質が有望視されている。菌類は一般に、培養が容易で増殖率も高く、かつ脂質含量も高いことから、バクテリアを含む多くの菌種について探索が行われている。その結果、いくつかの有望な菌株が見出され、工業的な規模での生産が可能な段階に至っている。

いままでは、植物や菌類における脂肪酸の分布パターンがかなり明らかにされたとはいえ、まだ未知な部分や未開発の分野が残されている。一般に AA, EPA, DHA などの高度不飽和脂肪酸は、藻類とくに海産藻類や一部の菌類に分布している。これらの比較的下等な生物では、培養条件によって著しく脂肪酸パターンが変化する例が多いことはよく知られている。また *Mortierella* 菌で行われているように、いろいろなバイオテクノロジーを駆使して、さらに有望な油脂資源を開発しうる可能性もある。

このようなことから、現在までにどんな植物や菌類で脂肪酸組成が調べられており、どんな脂肪酸がどの程度分布しているかを概観することは意義深いことと思う。

§1. 藻類の脂肪酸

藻類は地衣類のように菌類と共生生活を営む特殊な例を除けば、すべて水中にその生活域がある。地球上における水圏の占める割合は、陸圏に比べてはるかに大きく、したがって藻類の生活範囲は極めて広く、かつ多様性に富む。また藻類はその光合成能を通じて、海洋、陸水いずれにおいても一次生産者としてそれぞれの生態系において重要な位置を占める。それゆえ生態学的な関心からと水産動物に対する餌料価値についての関心とから、多くの藻種について脂肪酸組成が分析されている。このような研究結果により、藻類の各分類群の間での脂肪酸の分布パターンがかなり明らかになっている。一般に、藻類には AA, EPA, DHA などの有用な高度不飽和脂肪酸を含むものが多い。ここではいままでは調べられたいろいろな藻種の脂肪酸組成を示し、各藻種間でどんな脂肪酸がどのように分布しているかを概観する。

1-1 藍藻類 (表 2-1)

藍藻類では Holton ら (1964), Levin ら (1964) により, *Anacystis ni-*

2. 植物界における高度不飽和脂肪酸の分布

dulans, *Anabaena variabilis* で、それぞれ脂肪酸組成が調べられて以来、多くの研究者によって、いろいろな藻種で研究が進められている。

藍藻類の脂肪酸組成は主として C_{16} , C_{18} 酸からなり, C_{16} 以上の鎖長をも

表 2-1 藍藻類各種の全脂質の脂肪酸組成

藍藻類各種の全脂質の脂肪酸組成											
Algal species	18:3 18:3 ³										出典
	14:0	16:0	16:1	16:2	18:1	18:2	ω6	ω3	18:4		
<i>Anacystis nidulans</i>	1	46	46	—	3	—	—	—	—	(1)	
<i>Anabaena variabilis</i>	—	32	22	1	11	17	—	16	—	(1)	
<i>Nostoc muscorum</i>	2	32	15	—	7	10	—	21	—	(4)	
<i>Spirulina platensis</i>	—	44	10	tr	5	13	22	tr	—	(2)	
<i>Synechocystis</i> 6714	tr	28	4	—	5	17	31	—	—	(5)	
<i>Tolypothrix tenuis</i>	1	22	3	—	16	15	13	6	11	(3)	
<i>Phormidium</i> sp.	1	18	9	—	21	32	—	1	2	(4)	

出典: (1) Sato ら (1979), (2) Nichols ら (1968), (3) Kenyon ら (1972), (4) Holton (1964), (5) Kenyon (1972).

った脂肪酸はまだ知られていない。飽和酸はいずれの種においても 16:0 が主要であるが、不飽和酸は藻種によってそれぞれ特徴的なパターンを示す。

Kenyon (1972), Kenyon ら (1972) は含まれる不飽和酸のパターンから、藍藻類を 4 つのグループに分けられるとした。すなわち, (1) *Anacystis nidulans* のようにモノエン酸のみを含むもの, (2) *Anabaena variabilis* のように 18:2 と 18:3 ω3 を含むもの, (3) *Spirulina platensis* のように 18:3 ω6 を含むもの, (4) 18:3 に加えて 18:4 を含むもの (*Tolypothrix tenuis*)。

1-2 紅藻類 (表 2-2, 2-3)

紅藻類の脂肪酸組成は, Pohl ら (1968), Jamieson and Reid (1972), Araki ら (1994), Khotimchenko and Vaskovsky (1990), Levy ら (1992) など多くの研究者により、いろいろな紅藻種で分析されており、その脂肪酸分布のパターンはよく知られている。表 2-2 に代表的な紅藻種の脂肪酸組成を示した。大型の紅藻種では一般に, C_{16} の不飽和脂肪酸が少い一方, C_{20} の多不飽和脂肪酸の含量、とくに 20:4 ω6, 20:5 ω3 が多量に存在する。

Khotimchenko and Vaskovsky (1990) は, C_{20} の高度不飽和脂肪酸の含量のパターンから, (1) EPA 含量が高いもの, (2) AA 含量が高いもの, (3) EPA と AA がほぼ等量含まれるもの, の 3 つのグループに分けられるとした。その後, Araki ら (1994) は *Meristotheca populosa* をはじめミリノ科に属す

る日本産の藻種にC₁₈の不飽和酸を多量に含むことを見出し、4つのグループに分けられることをみた。さらに最近、Levyら(1992)は、*Hypnea musci-*

表 2-2 紅藻類各種の全脂質の脂肪酸組成

Algal species	14:0	16:0	16:1	18:1	18:2	18:3	18:4	20:4	20:5	出典
<i>Alsidium corallinum</i>	5	33	8	14	10	—	—	10	5	(1)
<i>Batrachospermum</i> sp.	2	27	2	8	1	—	—	5	52	(2)
<i>Chondrus ocellatus</i>	4	35	1	8	1	—	—	24	22	(2)
<i>Corallina officinalis</i>	2	24	3	5	1	1	—	6	52	(6)
<i>Gelidium amansii</i>	2	29	1	5	—	—	—	32	28	(2)
<i>Gelidium furcata</i>	2	24	3	9	1	—	—	9	47	(2)
<i>Gracilaria verrucosa</i>	2	31	2	5	1	—	—	54	2	(3)
<i>G. gigas</i>	2	30	2	8	1	—	—	12	38	(3)
<i>Hypnea musciformis</i> ^{a)}	5	22	12	9	2	2	—	10	11	(1)
<i>Laurencia pinnatifida</i>	4	21	4	8	1	3	—	6	35	(6)
<i>Meristotheca papulosa</i> ^{b)}	1	22	12	5	1	1	—	11	33	(2)
<i>Odonthalia dentata</i>	3	27	2	11	1	tr	—	13	38	(6)
<i>Porphyra yezoensis</i>	—	26	3	4	1	—	—	2	52	(4)
<i>Porphyridium cruentum</i> ^{b)}	—	35	3	2	tr	tr	—	16	36	(5)
<i>P. cruentum</i> ^{b)}	—	34	tr	2	tr	tr	—	42	8	(5)
<i>Rhodomela subfusca</i>	4	29	5	15	—	1	—	14	24	(7)

a) also contained 22:6 ω 3 (5%), b) also contained 16:3 (11%)

c) cultured under optimal growth condition, d) cultured under limited growth condition

出典: (1)Levyら(1992), (2)Arakiら(1993), (3)Arakiら(1990), (4)Arakiら(1986), (5)Cohenら(1988), (6)Jamieson and Reid(1972), (7)Klenkら(1963).

表 2-3 紅藻スサビノリの各脂質クラスの脂肪酸組成

	MGDG	DGDG	SQDG	PG	PC	PE	TG
16:0	13	38	50	31	10	2	13
16:1r	—	—	—	15	—	—	—
18:1	4	7	1	1	5	2	10
18:2	1	4	—	—	4	1	7
18:3 ω 6	1	—	—	—	3	2	1
18:3 ω 3	—	—	—	—	1	—	—
18:4	—	—	—	—	3	1	1
20:1	1	1	—	15	1	1	4
20:2	1	1	—	5	—	—	2
20:3	3	2	—	—	3	8	8
20:4 ω 6	2	1	1	1	6	16	11
20:5 ω 3	74	46	48	30	65	60	41

Arakiら(1986), 16:1r; trans- ω 13-16:1

2. 植物界における高度不飽和脂肪酸の分布

formis に22:6 ω 3 (6%) が, *Alsidium corallinum* に18:3 ω 6 (10%) がそれぞれ検出されたことと報告しており, 紅藻類の脂肪酸パターンはかなり多様性を示すことが推察される。

表2-3はスサビノリ (*Porphyra yezoensis*) の各脂質クラスの脂肪酸組成を示したものである。スサビノリに含まれる主要な高度不飽和脂肪酸は20:5 ω 3と20:4 ω 6であるが, 前者はすべての脂質クラスにおいて高い含量で存在し, とくにMGDG^{*1}とPC^{*2}, PE^{*3}に多量に分布している。

これに対して, 20:4 ω 6は主として, PC, PE, TG^{*4}により多く分布している。紅藻類では, 一般にPEの不飽和度が高く, ほとんど不飽和脂肪酸のみで構成されている。

1-3 クリプト藻類 (表 2-4, 2-5)

単細胞で細胞壁をもたない種が多い。クロロフィルa, cとともにフィコビルン色素を含み, 紅藻類と珪藻類など褐色植物 (Chromophyte algae) の性質を併せもつ。また他の藻類で主要なカロチンになっている β -カロチンが少く, α -カロチンをより含むなど, 種々な点でユニークな藻類である。

クリプト藻の脂肪酸組成は, Chuecas and Riley (1969) および Beachら

表 2-4 クリプト藻類各種の全脂質の脂肪酸組成

Algal species	14:0	16:0	18:1	18:2	18:3	18:4	20:4	20:5	22:6	出典
<i>Chilomonas paramecium</i>	18	18	9	—	27	—	—	6	3	(1)
<i>Chroomonas</i> sp.	2	16	5	1	23	23	—	14	6	(1)
<i>Cryptomonas</i> sp. WH(1)	6	4	5	—	7	44	—	16	10	(1)
<i>C. malculata</i>	5	15	4	—	6	16	17	—	—	(2)
<i>C. sp.</i>	2	11	2	—	10	22	—	21	7	(3)
<i>C. appendiculata</i> ^{a)}	5	15	4	—	12	13	10	3	10	(2)
<i>Hemiselms virescens</i>	8	23	7	—	22	16	—	7	2	(1)
<i>H. brunescens</i>	1	21	2	tr	8	31	18	14	—	(2)
<i>Rhodomonas lens</i>	18	13	10	—	16	13	—	13	5	(1)
<i>R. lacustris</i>	2	15	4	—	21	21	—	11	4	(3)

a) also contained 16:1 (12%)

出典: (1) Beachら(1970), (2) Chuecas and Riley (1969), (3) Ahlgrenら(1992).

*1 モノガラクトシル・ジアシル・グリセロール

*2 ホスファチジルコリン

*3 ホスファチジルエタノールアミン

*4 トリアシルグリセロール

の稚魚の育成のために、その餌料となるワムシなどの培養が不可欠である。

Nannochloropsis 属のいくつかの藻種が、このワムシの培養に際して良好な飼料効果をもつことがわかり、この藻を中心にして製造された飼料が販賣されており、広く利用されている。

Nannochloropsis 属の主要脂肪酸は、14:0, 16:0, 16:1 ω 7, 20:5 ω 3 であるが、20:5 ω 3 は培養温度によってその含量が著しく変化し、表 2-16 に示したように *N. oculata* では 25°C で培養したものは、20°C で培養したものより著しく減少する (瀬戸, 1993)。餌料藻としての *N. oculata* の 20:5 ω 3 の含量は、ワムシを通じて稚魚の生育に大きな影響を及ぼし、20:5 ω 3 の含量の少ない飼料藻で培養したワムシで飼育した稚魚の成長は低下するといわれている。

1-11 プラシノ藻類 (表 2-17)

光合成色素の組成や葉緑体構造は緑藻類に類似するが、光合成の一次産物や細胞壁の糖組成、鞭毛の微細構造が異なることから独立した藻群に分類されている。

表 2-17 プラシノ藻類各種の全脂質の脂肪酸組成

Fatty acid	<i>Halosphaera viridis</i>	<i>Heteromastix rotunda</i>	<i>Platysomonas tetrahela</i>	<i>Tetraselmis suecica</i>
16:0	18	11	11	11
16:1	1	16	4	2
Cl6 poly	3	8	20	3
18:1	45	2	13	24
18:2 ω 6	7	3	12	2
18:3 ω 3	7	4	16	17
18:4 ω 3	7	9	8	—
20:5 ω 3	tr	28	4	11
22:5 ω 3	—	7	13	—

出典: (1) Ackman ら (1970), (2) Chuecas and Riley (1969),

(3) Pohl ら (1968), (4) DeMott ら (1972)。

プラシノ藻に属する藻種の脂肪酸組成は、緑藻類のうち海産種のそれに類似し、20:5 ω 3 や 22:5 ω 3 など ω 3 系列の高度不飽和脂肪酸を多量に含むものがある。

2. 植物界における高度不飽和脂肪酸の分布

1-12 緑藻類 (表 2-18, 2-19)

緑藻類は淡水や海水中に普通にみられ、クロレラ (*Chlorella*) やセネデスムス (*Scenedesmus*) のように、単細胞で浮遊生活を営むものや、クラミドモナス (*Chlamydomonas*) のように鞭毛をもつ単細胞種、さらにフオサ、フオノリのように海産のやや大型のものまで、いろいろな形態を示す藻種が存在する。

表 2-18 緑藻類各種の全脂質の脂肪酸組成

Algal species	14:0	16:0	16:1	16:2	16:3	16:4	18:1	18:2	18:3	18:4	20:5	出典
Microphytic forms												
<i>Chlorella regularis</i>	1	17	3	18	—	7	4	37	9	—	—	(1)
<i>C. pyrenoidosa</i>	—	20	3	tr	7	—	46	10	12	—	—	(2)
<i>Chlamydomonas</i>												
<i>reinhardtii</i>	1	20	3	1	—	—	24	5	31	—	—	(3)
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	1	13	10	3	5	7	8	6	8	—	10	(4)
<i>Scenedesmus obliquus</i>	1	35	2	1	tr	15	8	6	30	—	—	(2)
Macrophytic forms												
<i>Blaugeria minima</i>	1	21	3	1	2	14	4	7	13	17	3	(5)
<i>Cladophora albida</i>	6	18	16	1	1	7	9	3	14	4	12	(6)
<i>Codium elongata</i>	4	11	10	3	2	—	18	10	16	5	4	(7)
<i>C. fragile</i>	2	26	3	3	3	9	—	11	9	15	1	(5)
<i>Enteromorpha linza</i>	1	30	2	tr	1	10	7	9	17	11	2	(5)
<i>E. intestinalis</i>	1	13	3	1	3	16	9	6	21	17	2	(6)
<i>Halimeda tuna</i>	10	18	6	2	3	—	26	13	5	2	4	(7)
<i>Ulva fenestrata</i>	1	30	2	1	2	9	11	10	15	6	2	(5)

出典: (1) Watanabe ら (1978), (2) Klenk ら (1963), (3) Erwin and Bloch (1963)

(4) Chuecas and Riley (1969), (5) Khotimchenko (1993), (6) Jamieson and Reid (1972) (7) Pohl ら (1968)。

緑藻類の脂肪酸組成は、いまままでに比較的良好に調べられている。単細胞藻では、Chuecas and Riley (1969), Klenk ら (1963), Nichols (1965), 大型藻では Pohl ら (1968), Jamieson and Reid (1972), Kananiwa ら (1987), Khotimchenko (1993) などによる報告がある。

表 2-18 に緑藻類の主な藻種の脂肪酸組成を示す。Chlorella や Scenedesmus 属のような淡水産の単細胞種では、飽和酸は 16:0、不飽和酸は 16:1 と C₁₆ のポリエン酸、18:1, 18:2 ω 6, 18:3 ω 3 が主な構成酸で、鞭毛をもった淡水産種 (*Chlamydomonas* 属) では 18:3 ω 6 を含むものがある。一方、海

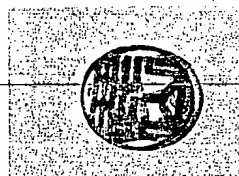
ま 行

マイクログラブセル化	219, 220	卵成熟誘起作用	93
膜	199	藍藻類	12
——の流動性	233	リノPAF	117
マクロファージ	140	律速因子	195
マスキング	216, 217	リノール酸	48, 123, 156, 160
Max EPA	69	——からアラキドン酸への代謝	48
Malondialdehyde (MDA)	153	——系列	182
ミエリン	229	——系列 (ω6)	56
Mycobacterium	133, 134	——(ω6あるいはn6)	60
ミコール酸	131, 132	α-リノレン酸からエイコサペンタエン酸への代謝	49
——含有糖脂質	133	——の系列 (ω3)	56
明暗弁別	231, 234	α-リノレン酸 (ω3あるいはn-3) 系列	60
——学習能試験	234	α-リノレン酸の代謝経路	50
メチレン中断型	45	リパーゼ	187
——多不飽和脂肪酸	57	リポキシゲナーゼ	68, 82, 96, 108, 174, 207, 208, 209, 210
免疫	131	——阻害剤	163
免疫反応 (アレルギン)	172	——代謝経路	73, 84
網膜	229	リポキシン (LX)	82, 105, 213
戻り臭	216	——LXA ₄	105
モノオキシゲナーゼ反応	98	——LXB ₄	105
モノグリセリド	220, 221	緑藻類	27
モノ不飽和脂肪酸の生合成経路	54	リン脂質	196, 197, 199, 200
Mortierella alpina	9, 225	——性過酸化二次生成体	123
		——ヒドロペルオキシド	122
や 行		レンチン	142, 217, 218
薬剤耐性	166	Recommended Dietary Allowance	49
・有糸分裂誘発因子感応	52	ロイコトリエン (LT)	82, 96, 172, 174
融点	189	——B ₄	104, 158
溶媒	189	老人性痴呆	232
ら 行		わ 行	
裸子植物	31	Y途路型学習実験	228
卵黄類	36	ワムシ	26, 222

1995年 9 月 30 日 初版発行

AA, EPA, DHA-高度不飽和脂肪酸

定価 カバーに表示

編 者
鹿 山 光◎発行者
佐 竹 久 男発行所
恒星社厚生閣東京都新宿区三栄町 8
電話 03 (3359) 7371(代)
振替東京 0-5 9 6 0 0 番
Fax 03 (3359) 7375

興英印刷・協栄製本

